L22

Via Elia Lombardini, 22, 20143 Milano (MI)

LOCALITA' GIOVENZANO, VELLEZZO BELLINI (PV)

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1 + R3) RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (R2) AI SENSI DELLE N.T.C. D.M. 17/01/2018 e D.G.R. X/5001/2016

Milano, febbraio 2023

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Societàdi ingegneria

Bastioni di Porta Volta 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com
CF e P.Iva e Registro Imprese d Milano 09422240961
Capitale sociale € 30.000 interamente versato

STUDIO IDROGEOTECNICO 1964 - 2014

Danilo Ebalginelli 19.09.2024 11:49:38 GMT+02:00

STUDIO IDROGEOTECNICO
1964 - 2014
STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Società di ingegneria
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

L22

Via Elia Lombardini, 22, 20143 Milano (MI)

LOCALITA' GIOVENZANO, VELLEZZO BELLINI (PV)

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1 + R3) RELAZIONE GEOTECNICA (R2) CARATTERIZZAZIONE AI SENSI DELLE N.T.C. D.M. 17/01/2018 e D.G.R. X/5001/2016

Sommario

1 PREMESSA 3
2 RIFERIMENTI NORMATIVI 4
3 RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3) 5
3.1 REGIME VINCOLISTICO E FATTIBILITA' GEOLOGICA 5
3.1.1 Carta dei vincoli e di sintesi 5
3.1.2 Pericolosità sismica locale 8
3.1.3 Fattibilità geologica e norme geologiche di piano 10
3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 12
3.2.1 Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici 12
3.2.2 Classificazione delle unità di sottosuolo 14
3.2.3 Caratteri piezometrici locali 19
3.2.3.1 Piezometria sito specifica 20
3.3 ASPETTI SISMICI 20
3.3.1 Approfondimento sismico di primo livello 20
3.3.1.1 Pericolosità sismica locale 20
3.3.1.2 Parametri sismici 22
3.3.1.3 Verifica della suscettibilità alla liquefazione 26
3.3.2 Approfondimento sismico di secondo livello per scenario PSL Z4a 27
4 RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (R2) 31
4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE 31
4.1.1 Metodologia di esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo 31
4.1.2 Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche in foro SPT 32
4.1.3 Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche continue SCPT 35
4.1.4 Prove di laboratorio 36
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI 38

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

ALLEGATI

All. 1 - Ubicazione delle indagini - scala 1:2000
All. 2 - Tecnoin Geosolution - Report Indagini geognostiche
All. 3 - Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT
All. 4 - Indagini sismiche Downhole
All. 5 - Scheda litologica per approfondimento sismico di 2° livello
All. 6 - Relazione di calcolo "Verifica alla liquefazione"

MODULO 9 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589
MODULO 10 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

1 PREMESSA

L22 ha affidato allo Studio Idrogeotecnico Srl di Milano l'incarico per l'esecuzione di indagini geognostiche e successiva relazione geologica, sismica e di caratterizzazione geotecnica nell'ambito di realizzazione nuova costruzione di edifici destinati ad ospitare data center. Il complesso risulta essere costituito da moduli prefabbricati in c.a./c.a.p. monopiano destinati ad ospitare le sale dati aventi cadauno dimensioni 30mx70mx10m(h) circa; strutture metalliche monopiano (denominate gantry) per il supporto degli impianti aventi cadauno dimensioni 20mx70mx10m(h) circa; blocco uffici bi-piano in struttura prefabbricata c.a./c.a.p.
Questa prima fase di indagine è utile al primo step di realizzazione dell'intervento, corrispondente al solo edificio da 30MW (il più grande a nord).

Per la definizione della successione litostratigrafica dell'area di intervento e delle caratteristiche granulometriche e geotecniche dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla specifica campagna di indagini geognostiche effettuate in sito in dicembre 2022 che ha previsto l'esecuzione di:

- n° 3 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo (S1, S2 e S3) spinti alla profondità di 40 m;
- n° 1 condizionamento di foro di sondaggio eseguito con piezometro a tubo aperto da 2";
- n° 2 condizionamenti di fori di sondaggio eseguiti per prove Down-Hole con tubo cieco da 3";
- n° 48 prove penetrometriche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- n° 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT;
- n° 15 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi;
- n° 5 campioni indisturbati prelevati dai sondaggi;
- Prove di laboratorio geotecnico sui campioni prelevati.

Le indagini, svolte in ottemperanza a quanto previsto dalla D.M. 17/01/2018, sono state finalizzate alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione allo scopo di ottenere la corretta scelta, impostazione e dimensionamento delle opere fondazionali.

In coerenza con quanto previsto ai sensi della D.G.R. X/5001 del 30 marzo 2016 "*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1e 13, comma 1, della L.R. 33/2015*") il presente documento si compone di:

- relazione geologica (R3+R1) ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e delle NTC 17/01/2018 (punto 6.2.1) finalizzata a:
  - verifica della fattibilità dell'intervento in riferimento alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano del Governo del Territorio vigente;

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

- caratterizzazione e modellazione geologica/idrogeologica, geotecnica e sismica del sito;
- analisi di risposta simica semplificata di II livello;

- relazione geotecnica di caratterizzazione (R2) ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e delle NTC 17/01/2018 (punto 6.2.2) finalizzata alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del sito;
- modulo 9, 10 ai sensi del D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589 *Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1 della l.r. 33/2015)".*

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Normative

- D.M. Infrastrutture e trasporti 30.04.20 – Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 -bis, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93.
- Circolare 21.01.19 n° 7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.18.
- D.M. Infrastrutture e trasporti 17.01.18 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- D.M. Infrastrutture e trasporti 14.01.08 – Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 02.02.09 n°617 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08
- L.R.30.09.2020 n° 20 – Ulteriori misure di semplificazione e riduzione degli oneri amministrativi per la ripresa socio-economica del territorio lombardo.
- Circolare Regione Lombardia 28.01.20 n° 1 – Profili applicativi in materia di opere o costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche ci cui alla l.r. 33/2015 a seguito dell'entrata in vigore della l. 156/2019, della l.r. 21/2019 e della d.g.r. XI/2584/2019
- D.d.u.o. 22.05.19 n° 7237 – Aggiornamento del D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904
- D.d.u.o. 28.11.2018 n. 17589 - Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica"
- D.G.R. 30.03.2016 – n° X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materi sismica
- L.R. 12/10/2015 n° 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- D.G.R. 11.07.2014 – n° X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

- D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904 – Approvazione elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico e di quelli che possono assumere rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso in attuazione della D.G.R. n° 19964 del 7.11.03
- D.G.R. 30.11.2011 n° IX/2616 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio

Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). "Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation" Géotechnique 36, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). "Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni". Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.
- Cestari F. (1990). "Prove Geotecniche in Sito". Geo-Graph. Pagg. 207-284.
- R. Lancellotta (1993)."Geotecnica". Zanichelli.

3 RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3)

3.1 REGIME VINCOLISTICO E FATTIBILITA' GEOLOGICA

Nei paragrafi seguenti vengono esaminate le relazioni dell'area di intervento con gli aspetti relativi ai vincoli idrogeologici, alla pericolosità sismica locale, alla sintesi degli elementi conoscitivi e alla fattibilità geologica, desunti dalla componente geologica, idrogeologica e sismica di supporto al PGT del comune di Vellezzo Bellini redatta ai sensi della D.G.R. 30/11/2011 n° IX/2616, approvata con delibera del Consiglio Comunale n° 5 del 30/01/2013.

3.1.1 Carta dei vincoli e di sintesi

L'area di indagine, come osservabile dall'immagine seguente (Figura 3.1), desunta dalla carta dei vincoli e di sintesi della componente geologica del PGT vigente, ricade completamente entro aree di notevole interesse pubblico "Bellezze d'insieme" e parzialmente nelle aree di rispetto dei corsi d'acqua Naviglio di Pavia e Navigliaccio o Naviglio Vecchio, di interesse naturalistico ai sensi del D.Lgs 42/2004.
L'area non interferisce con le zone di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile del pubblico acquedotto; né con i vincoli di polizia idraulica del reticolo idrografico principale e minore, né con i vincoli idraulici PAI-PGRA.
Inoltre, l'area si trova nello scenario di pericolosità Z4a.

STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

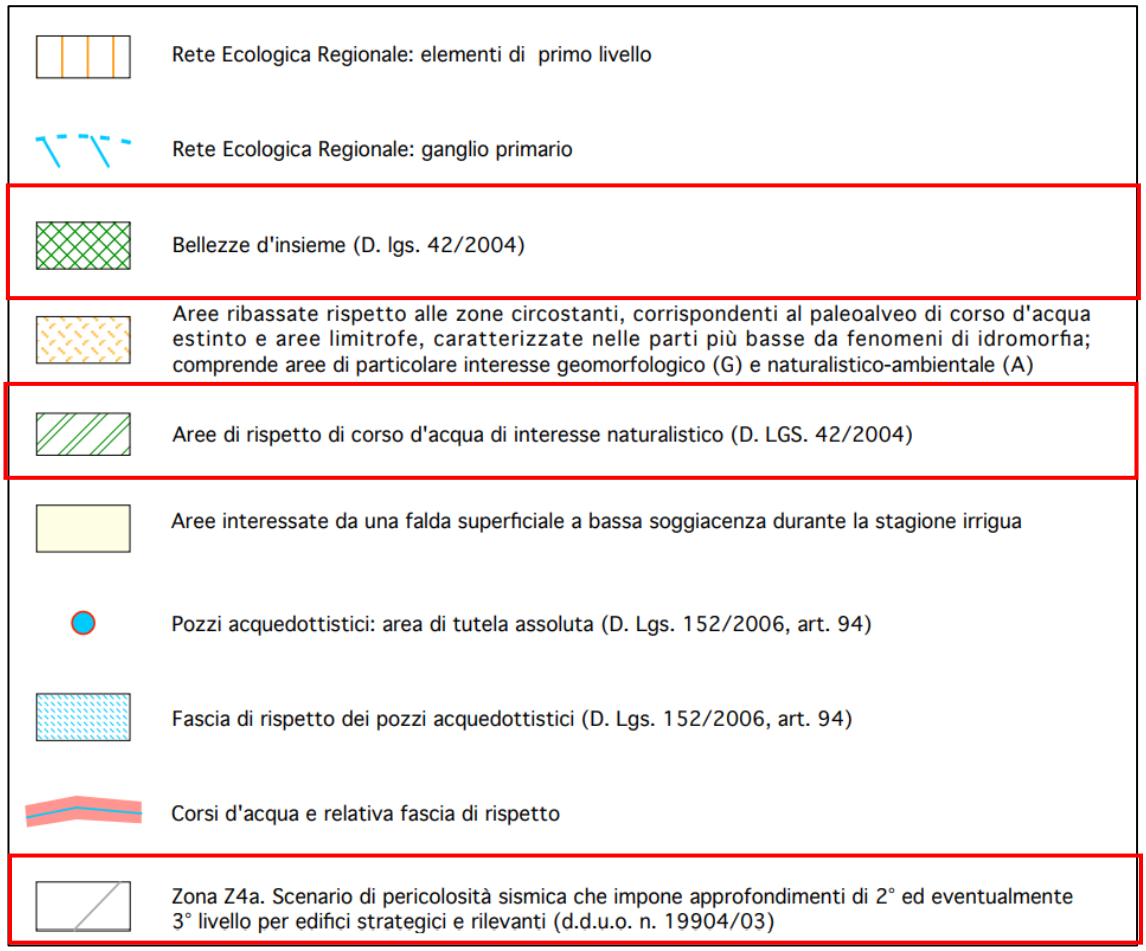

Rete Ecologica Regionale: elementi di primo livello
Rete Ecologica Regionale: ganglio primario
Bellezze d'insieme (D. lgs. 42/2004)
Aree ribassate rispetto alle zone circostanti, corrispondenti al paleoalveo di corso d'acqua estinto e aree limitrofe, caratterizzate nelle parti più basse da fenomeni di idromorfia; comprende aree di particolare interesse geomorfologico (G) e naturalistico-ambientale (A)
Aree di rispetto di corso d'acqua di interesse naturalistico (D. LGS. 42/2004)
Aree interessate da una falda superficiale a bassa soggiacenza durante la stagione irrigua
Pozzi acquedottistici: area di tutela assoluta (D. Lgs. 152/2006, art. 94)
Fascia di rispetto dei pozzi acquedottistici (D. Lgs. 152/2006, art. 94)
Corsi d'acqua e relativa fascia di rispetto
Zona Z4a. Scenario di pericolosità sismica che impone approfondimenti di 2° ed eventualmente 3° livello per edifici strategici e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/03)

Figura 3.1 - Stralcio Carta dei vincoli e di sintesi– Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Vellezzo Bellini (PV)

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stato adottato con deliberazione n.4 nella seduta del 17 dicembre 2015 e approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.
Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. 49/2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Nella seguente immagine (Figura 3.2), riportante uno stralcio riferito all'area di studio della mappatura "Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2022" desunta dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia, e nella precedente Figura 3.1, si evidenzia che l'area non rientra nelle aree esposte al rischio alluvionale.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

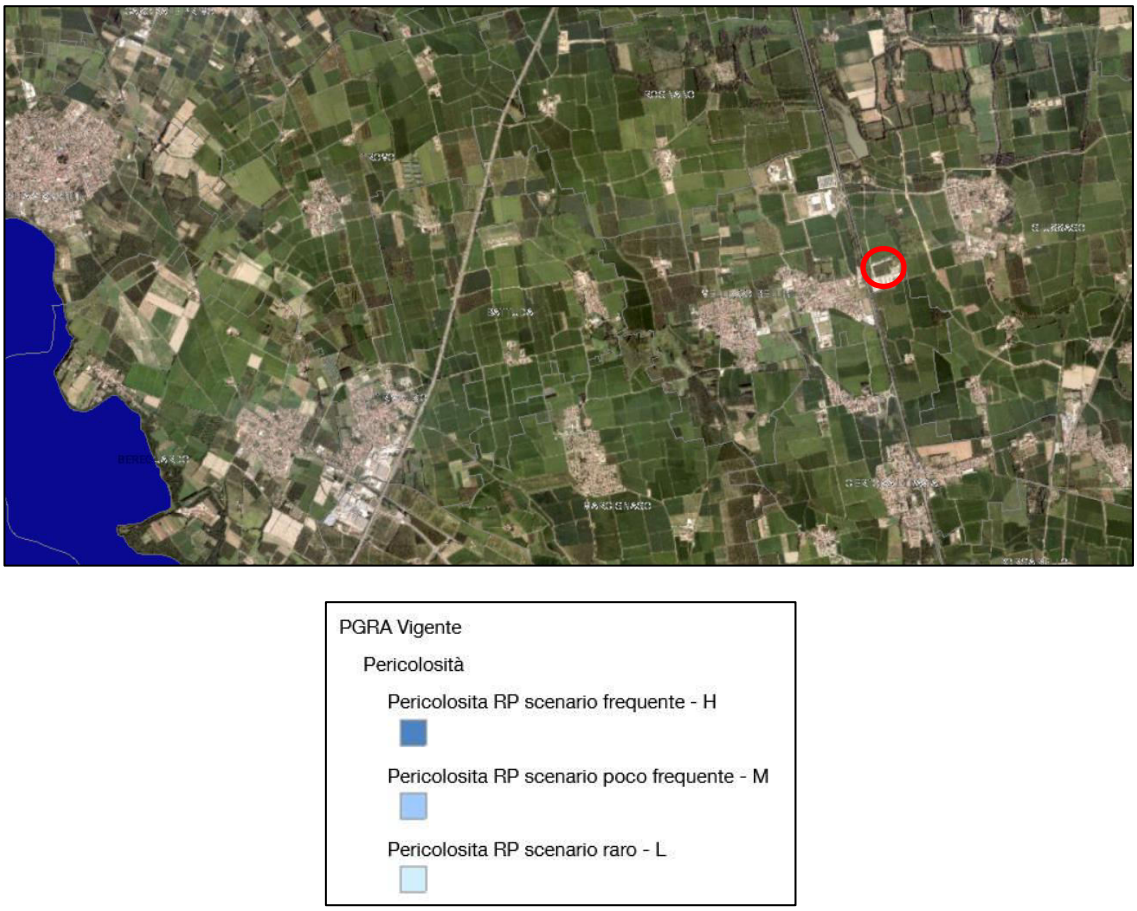

PGRA Vigente
Pericolosità
Pericolosita RP scenario frequente - H
Pericolosita RP scenario poco frequente - M
Pericolosita RP scenario raro - L

Figura 3.2 - Piano di Gestione Rischio di Alluvione – Revisione 2022 - Pericolosità idraulica - Geoportale Regione Lombardia

3.1.2 Pericolosità sismica locale

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia, di cui alla recente D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia*", il territorio di Vellezzo Bellini risulta riclassificato in **Zona Sismica 3** con valore di accelerazione massima $\mathbf{A_{gmax} = 0{,}057162}$. Pertanto, ai sensi della l.r. 12 ottobre 2015 n. 33 è necessario depositare allo sportello unico del comune, prima dell'inizio dei lavori, la documentazione di progetto conforme ai contenuti minimi previsti dalla D.G.R. 30 marzo 2016 – n. X/5001.

Per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica sito specifica, la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Sintesi delle procedure*", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

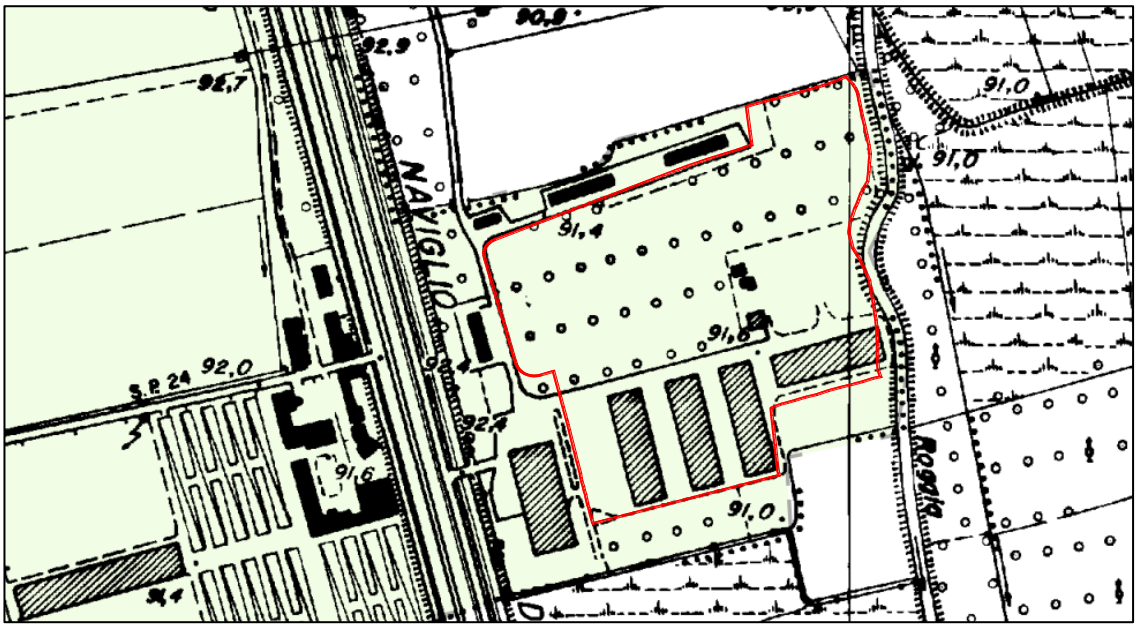
PSL = Pericolosità Sismica Locale

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1^ livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Pertanto, poiché il comune di Vellezzo Bellini è classificato in zona sismica 3, per tutti i progetti di edifici si rende necessaria la valutazione degli effetti di amplificazione litologica e delle conseguenti azioni sismiche di progetto a mezzo di approfondimenti sismici di 2° livello in fase di pianificazione, condotti secondo i criteri definiti dall'Allegato 5 della D.G.R. 30 novembre 2011 n° IX/2616.

I livello di approfondimento

La carta della pericolosità sismica locale (dicembre 2010) allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Vellezzo Bellini evidenzia che il sito di intervento ricade nello **scenario di pericolosità sismica Z4a**, suscettibile di amplificazioni sismiche di tipo litologico (Figura 3.3).



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

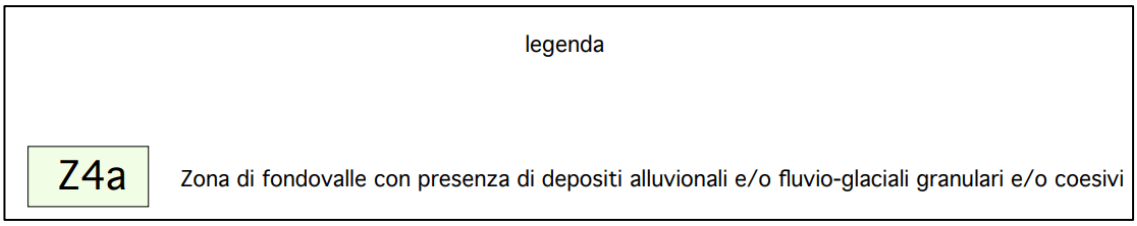
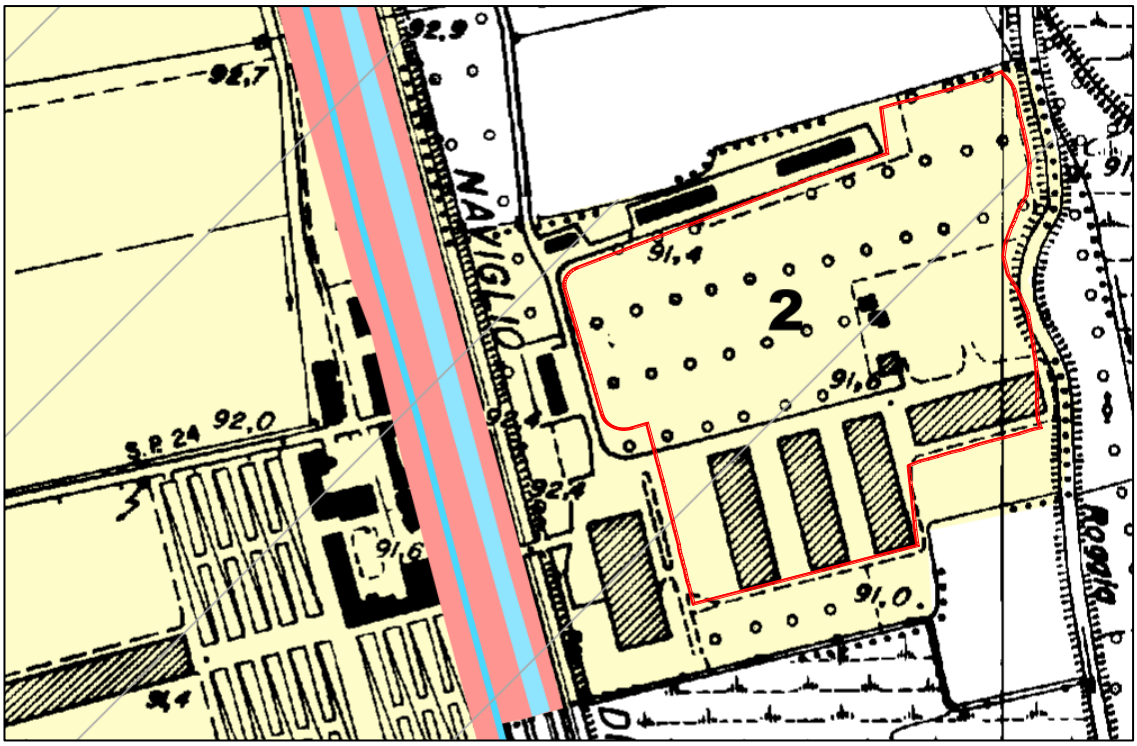


Figura 3.3 - Stralcio Tavola della pericolosità sismica locale - Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Vellezzo Bellini

3.1.3 Fattibilità geologica e norme geologiche di piano

L'ambito di intervento è compreso all'interno della **Classe di fattibilità geologica II - fattibilità con modeste limitazion**i, come desunto dalla "Carta di fattibilità geologica" allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT vigente (Figura 3.4).



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

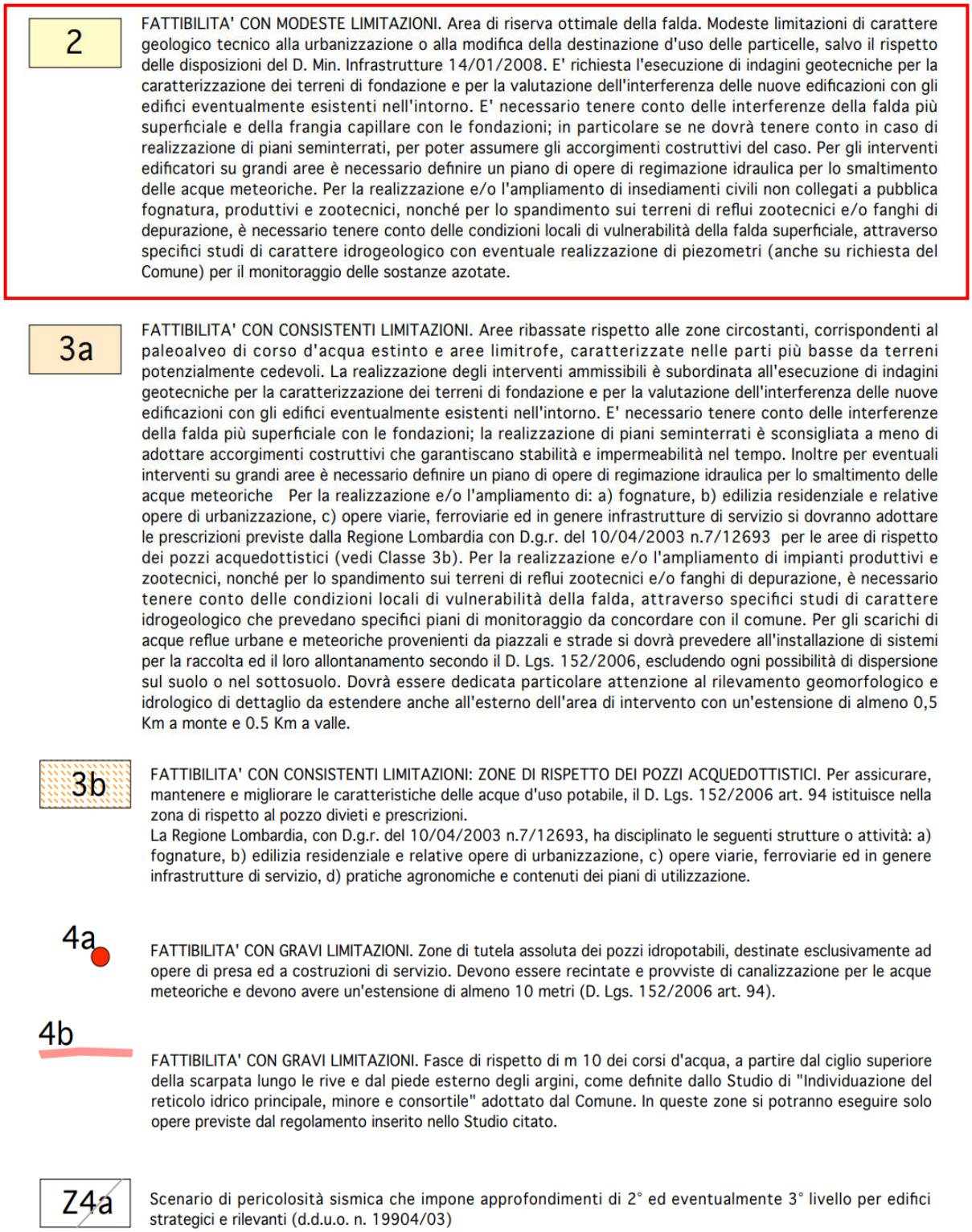

2
FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI. Area di riserva ottimale della falda. Modeste limitazioni di carattere geologico tecnico alla urbanizzazione o alla modifica della destinazione d'uso delle particelle, salvo il rispetto delle disposizioni del D. Min. Infrastrutture 14/01/2008. E' richiesta l'esecuzione di indagini geotecniche per la caratterizzazione dei terreni di fondazione e per la valutazione dell'interferenza delle nuove edificazioni con gli edifici eventualmente esistenti nell'intorno. E' necessario tenere conto delle interferenze della falda più superficiale e della frangia capillare con le fondazioni; in particolare se ne dovrà tenere conto in caso di realizzazione di piani seminterrati, per poter assumere gli accorgimenti costruttivi del caso. Per gli interventi edificatori su grandi aree è necessario definire un piano di opere di regimazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche. Per la realizzazione e/o l'ampliamento di insediamenti civili non collegati a pubblica fognatura, produttivi e zootecnici, nonché per lo spandimento sui terreni di reflui zootecnici e/o fanghi di depurazione, è necessario tenere conto delle condizioni locali di vulnerabilità della falda superficiale, attraverso specifici studi di carattere idrogeologico con eventuale realizzazione di piezometri (anche su richiesta del Comune) per il monitoraggio delle sostanze azotate.
3a
FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI. Aree ribassate rispetto alle zone circostanti, corrispondenti al paleoalveo di corso d'acqua estinto e aree limitrofe, caratterizzate nelle parti più basse da terreni potenzialmente cedevoli. La realizzazione degli interventi ammissibili è subordinata all'esecuzione di indagini geotecniche per la caratterizzazione dei terreni di fondazione e per la valutazione dell'interferenza delle nuove edificazioni con gli edifici eventualmente esistenti nell'intorno. E' necessario tenere conto delle interferenze della falda più superficiale con le fondazioni; la realizzazione di piani seminterrati è sconsigliata a meno di adottare accorgimenti costruttivi che garantiscano stabilità e impermeabilità nel tempo. Inoltre per eventuali interventi su grandi aree è necessario definire un piano di opere di regimazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche Per la realizzazione e/o l'ampliamento di: a) fognature, b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, c) opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio si dovranno adottare le prescrizioni previste dalla Regione Lombardia con D.g.r. del 10/04/2003 n.7/12693 per le aree di rispetto dei pozzi acquedottistici (vedi Classe 3b). Per la realizzazione e/o l'ampliamento di impianti produttivi e zootecnici, nonché per lo spandimento sui terreni di reflui zootecnici e/o fanghi di depurazione, è necessario tenere conto delle condizioni locali di vulnerabilità della falda, attraverso specifici studi di carattere idrogeologico che prevedano specifici piani di monitoraggio da concordare con il comune. Per gli scarichi di acque reflue urbane e meteoriche provenienti da piazzali e strade si dovrà prevedere all'installazione di sistemi per la raccolta ed il loro allontanamento secondo il D. Lgs. 152/2006, escludendo ogni possibilità di dispersione sul suolo o nel sottosuolo. Dovrà essere dedicata particolare attenzione al rilevamento geomorfologico e idrologico di dettaglio da estendere anche all'esterno dell'area di intervento con un'estensione di almeno 0,5 Km a monte e 0.5 Km a valle.
3b
FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI: ZONE DI RISPETTO DEI POZZI ACQUEDOTTISTICI. Per assicurare, mantenere e migliorare le caratteristiche delle acque d'uso potabile, il D. Lgs. 152/2006 art. 94 istituisce nella zona di rispetto al pozzo divieti e prescrizioni.
La Regione Lombardia, con D.g.r. del 10/04/2003 n.7/12693, ha disciplinato le seguenti strutture o attività: a) fognature, b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, c) opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio, d) pratiche agronomiche e contenuti dei piani di utilizzazione.
4a
FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI. Zone di tutela assoluta dei pozzi idropotabili, destinate esclusivamente ad opere di presa ed a costruzioni di servizio. Devono essere recintate e provviste di canalizzazione per le acque meteoriche e devono avere un'estensione di almeno 10 metri (D. Lgs. 152/2006 art. 94).
4b
FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI. Fasce di rispetto di m 10 dei corsi d'acqua, a partire dal ciglio superiore della scarpata lungo le rive e dal piede esterno degli argini, come definite dallo Studio di "Individuazione del reticolo idrico principale, minore e consortile" adottato dal Comune. In queste zone si potranno eseguire solo opere previste dal regolamento inserito nello Studio citato.
Z4a
Scenario di pericolosità sismica che impone approfondimenti di 2° ed eventualmente 3° livello per edifici strategici e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/03)

Figura 3.4 - Fattibilità geologica- Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Vellezzo Bellini

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

3.2.1 Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici

Il sito di progetto, inserito nell'ambito della media pianura lombarda, è ubicato nella porzione più orientale del territorio comunale di Vellezzo Bellini, a est del Naviglio di Pavia, ad una quota topografica media di circa 91,5 m s.l.m..
L'assetto morfologico del territorio è pianeggiante con una debolissima pendenza, dell'ordine del 1-2‰, verso SSE.

Il territorio comunale è attraversato da corsi d'acqua naturali e da una rete di canali di ordine e funzione diversificati. I corsi d'acqua principali sono il Navigliaccio (o Naviglio Vecchio), il Naviglio di Pavia, la roggia Giovenzana, il cavo Torriano, la roggia Mischia, il cavo Marozzi, il cavo Calignago e il cavo Cavone.

Da un punto di vista genetico, questa area è riferibile per età al "Fluviale e Fluvioglaciale Würm" (Pleistocene superiore) e questi depositi hanno contribuito alla costruzione di quello che veniva un tempo definito il "Livello fondamentale della pianura", mentre ora viene interpretato come l'ultima superficie di aggradazione dei sedimenti alluvionali depostisi nella regione.
Litologicamente si tratta di depositi alluvionali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi con intercalazioni di livelli argillosi di spessore metrico; in superficie è presente coltre di alterazione limoso argillosa dello spessore di alcuni decimetri.

Nella seguente immagine si riporta uno stralcio relativo all'area di studio della carta di inquadramento geologico- geomorfologico tratta dalla componente geologica del PGT, con dettaglio della classificazione geopedologica.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

FLUVIALE WURM - Terreni costituenti il "livello principale della pianura", da limi da sabbiosi ad argillosi nella porzione superficiale, sabbiosi in profondità.

Inquadramento geopedologico desunto dalla
"Base Informativa Pedologica" della Regione Lombardia

SISTEMA L: Piana fluvioglaciale e fluviale costituente il livello fondamentale della pianura
SOTTOSISTEMA LQ: Porzione centrale di pianura con intensi fenomeni di idromorfia, riconducibili all'emergenza delle risorgive e/o alla presenza di una falda sottosuperficiale

UNITÀ DI PAESAGGIO LQ3: Superfici subpianeggianti interposte alle principali linee di flusso e le zone più stabili, a drenaggio mediocre o lento.

UNITA' CARTOGRAFICA GIE1 (UC 449): suoli profondi limitati da orizzonti fortemente idromorfi, a tessitura media scheletro assente o scarso; drenaggio lento, permeabilità moderatamente bassa.

UNITA' CARTOGRAFICA VIN2/GSS1 (UC 450): i suoli VIN2 sono da moderatamente a poco profondi limitati da orizzonti idromorfi, a tessitura moderatamente grossolana, scheletro assente o scarso; reazione subacida; drenaggio lento, permeabilità moderata;
suoli GSS: molto profondi, a tessitura da moderatamente grossolana a media scheletro comune; drenaggio buono, permeabilità moderatamente elevata o moderata.

Figura 3.5 - Caratteri geologici e geopoedologici

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

3.2.2 Classificazione delle unità di sottosuolo

L'andamento delle unità idrogeologiche del sottosuolo dell'area di studio è visualizzato nella sezione seguente, orientata NW-SE, desunta dallo studio a carattere regionale[1] finalizzato alla revisione dei corpi idrici sotterranei introdotta dal PTUA 2016.

Le Unità riconosciute sono di seguito descritte dalla più superficiale alla più profonda:

Gruppo Acquifero A

E' costituito da depositi sciolti porosi aventi una permeabilità da alta a medio-alta, che, localmente, in superficie diventa bassa a causa della presenza di coperture di natura limosa. Si tratta di ghiaie in matrice sabbiosa, sabbie da fini a medie e sabbie localmente limose, al quale si intercalano lenti limoso-argillose di vario spessore (anche plurimetrico) ed estensione areale, alcune delle quali in grado di determinare localmente una compartimentazione del primo acquifero, di ambiente di deposizione continentale fluviale braided ad alta energia e con spessore medio di circa 90-100 m. Il gruppo è sede dell'acquifero principale, tradizionalmente captato dai pozzi a scopo idropotabile di vecchia realizzazione e da pozzi privati, con superficie stagionalmente assai prossima al piano campagna, che si differenzia in una porzione superficiale libera e/o localmente sospesa sostenuta dalla presenza di intercalazioni a bassa permeabilità, idrogeologicamente in comunicazione diretta con la superficie (A1), da una più profonda semiconfinata e confinata (A2). La soggiacenza della falda principale e/o sospesa si attesta mediamente a profondità di 1-2,5 m da p.c., fortemente influenzata dall'irrigazione e dall'andamento stagionale delle precipitazioni.

Gruppo Acquifero B

E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi di ambiente continentale in facies fluvioglaciale/fluviale di tipo braided. Litologicamente è composto da sabbie, sabbie fini localmente ghiaiose a cui si intercalano livelli di argille e argille limose con torbe, di spessore plurimetrico. Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided. Lo spessore medio è di circa 60-70 m.

Il presente gruppo è sede falde sovrapposte intermedie e profonde di tipo confinato o artesiano, dovute alla presenza di orizzonti semipermeabili ed impermeabili arealmente continui.

Gruppo Acquifero C

E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies continentale/transizionale deltizia. Litologicamente è costituita da sedimenti fini sabbiosi alternati ad argille limose verdastre e argille palustri bruno nerastre. Locale presenza di livelli di torbe. Lo spessore complessivo è sconosciuto in quanto il limite inferiore non è stato raggiunto dalle perforazioni dei pozzi più profondi presenti nell'area.

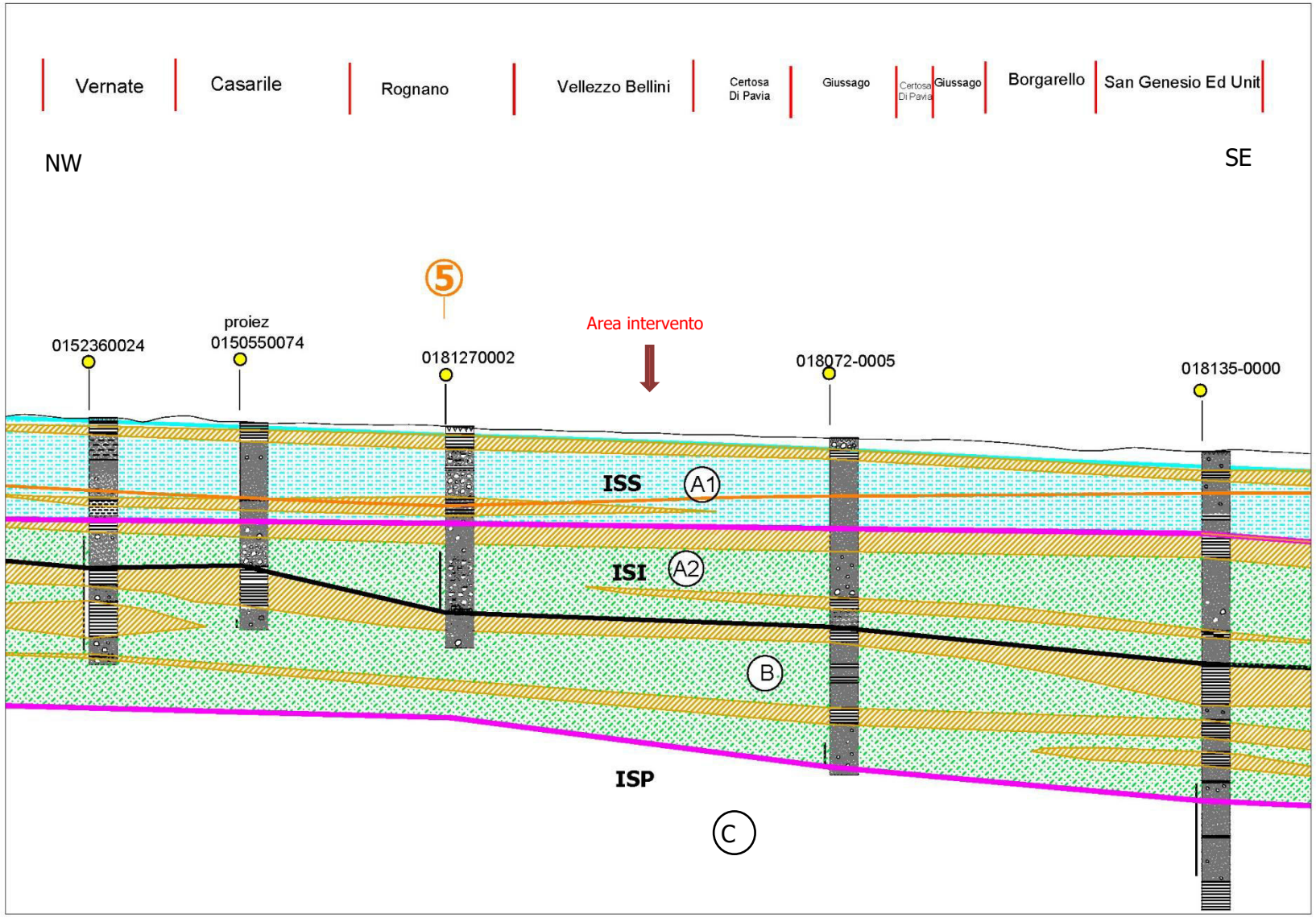
[1]Eupolis Lombardia: Attività di progettazione, monitoraggio e studio relative ai corpi idrici sotterranei della lombardia (Cod. Éupolis lombardia ter13016/001), Studio Idrogeotecnico Applicato - febbraio 2015

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi profondi, di tipo confinato, la cui vulnerabilità è mitigata dalla presenza a tetto di strati argillosi arealmente continui, ma non sono da escludere collegamenti ed alimentazione da parte dell'acquifero libero superiore ad alta vulnerabilità.

STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

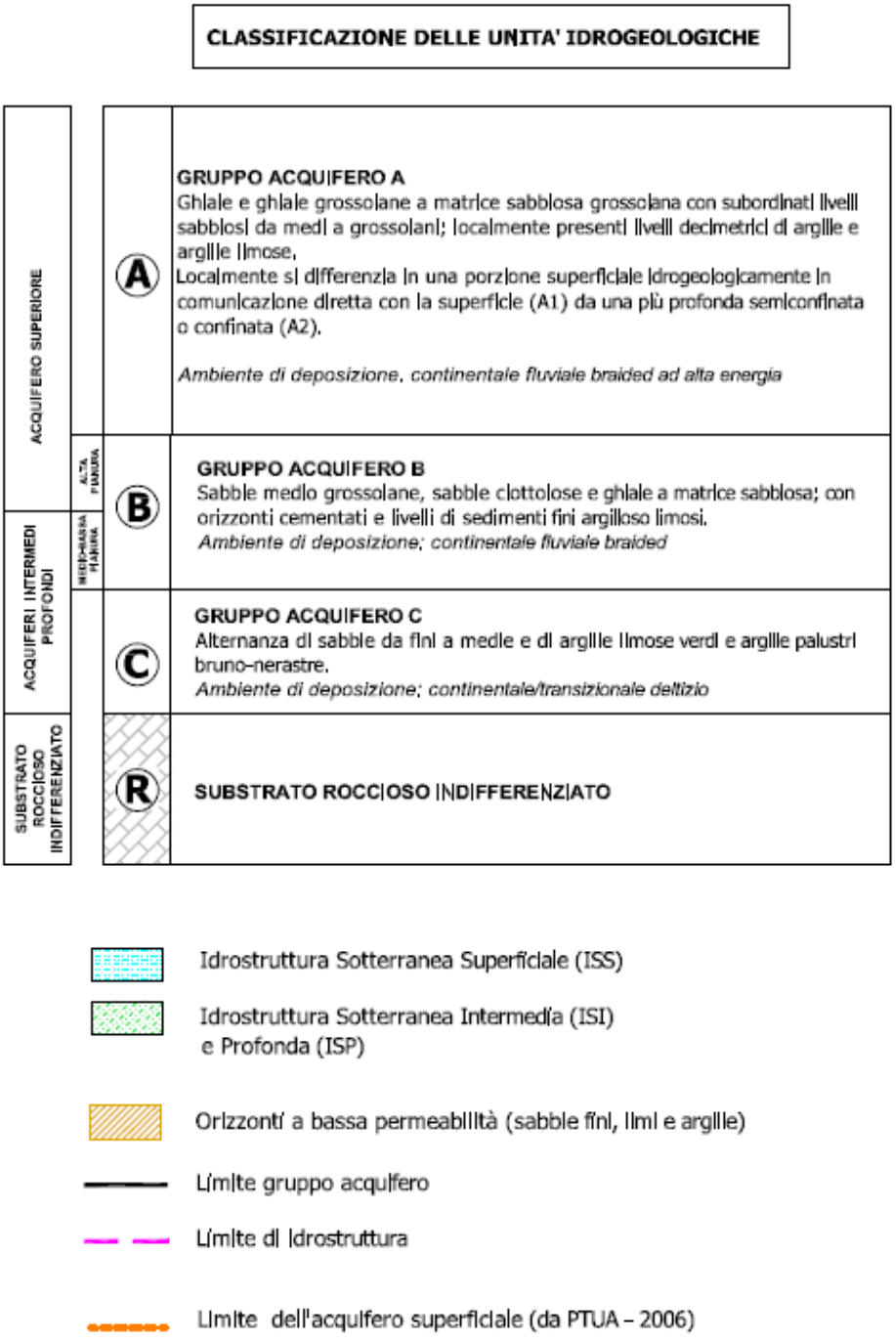

CLASSIFICAZIONE DELLE UNITA' IDROGEOLOGICHE
ACQUIFERO SUPERIORE
ACQUIFERI INTERMEDI PROFONDI
SUBSTRATO ROCCIOSO INDIFFERENZIATO
ALTA PIANURA
MEDIO-BASSA PIANURA
A
GRUPPO ACQUIFERO A
Ghiaie e ghiaie grossolane a matrice sabbiosa grossolana con subordinati livelli sabbiosi da medi a grossolani; localmente presenti livelli decimetrici di argille e argille limose.
Localmente si differenzia in una porzione superficiale idrogeologicamente in comunicazione diretta con la superficie (A1) da una più profonda semiconfinata o confinata (A2).
Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided ad alta energia
B
GRUPPO ACQUIFERO B
Sabbie medio grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa; con orizzonti cementati e livelli di sedimenti fini argilloso limosi.
Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided
C
GRUPPO ACQUIFERO C
Alternanza di sabbie da fini a medie e di argille limose verdi e argille palustri bruno-nerastre.
Ambiente di deposizione: continentale/transizionale deltizio
R
SUBSTRATO ROCCIOSO INDIFFERENZIATO
Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISS)
Idrostruttura Sotterranea Intermedia (ISI)
e Profonda (ISP)
Orizzonti a bassa permeabilità (sabbie fini, limi e argille)
Limite gruppo acquifero
Limite di idrostruttura
Limite dell'acquifero superficiale (da PTUA – 2006)

Figura 3.6 – Sezione idrogeologica (fonte dati: PTUA2016)

STUDIO IDROGEOTECNICO
1964 - 2014
STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Società di ingegneria
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

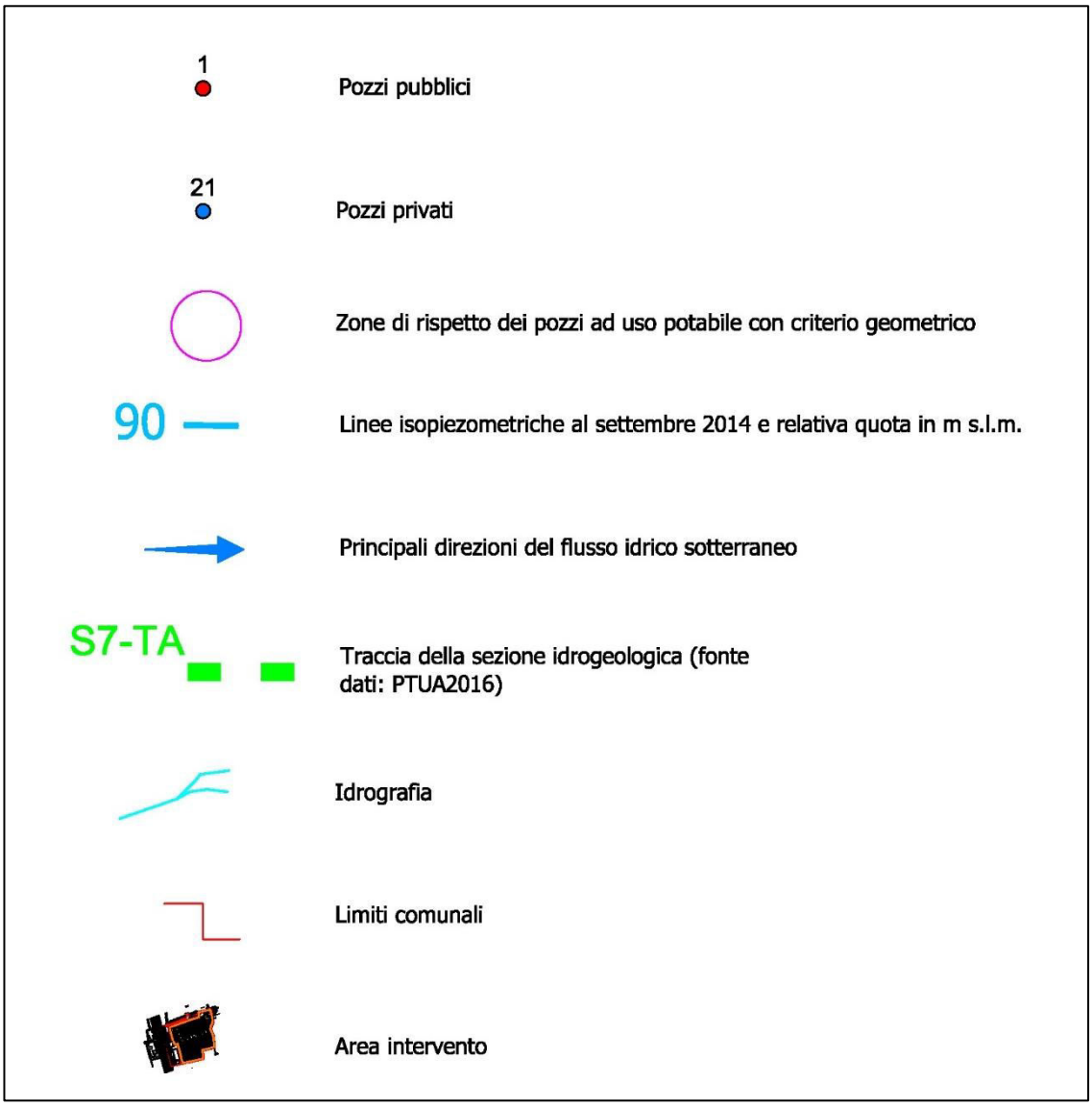


Figura 3.7 – Caratteri idrogeologici

3.2.3 Caratteri piezometrici locali

La morfologia della superficie piezometrica dell'acquifero principale è stata ricostruita tramite campagne di misurazioni dirette effettuate dagli Scriventi nel settembre 2014 sui pozzi e piezometri del territorio, nell'ambito dello studio a carattere regionale[2] finalizzato alla revisione dei corpi idrici sotterranei introdotta dal PTUA 2016 (cfr. Figura 3.7).

[2]Eupolis Lombardia: Attività di progettazione, monitoraggio e studio relative ai corpi idrici sotterranei della lombardia (Cod. Éupolis lombardia ter13016/001), Studio Idrogeotecnico Applicato - febbraio 2015

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

La morfologia della superficie piezometrica presenta un andamento radiale debolmente divergente influenzato dallo spartiacque sotterraneo presente tra gli assi di drenaggio rappresentati dal corso del Fiume Ticino a ovest e del Fiume Lambro Meridionale a est; le principali direzioni del flusso idrico sotterraneo sono orientate NE-SW nel settore occidentale e NW – SE nel settore orientale. Le quote piezometriche sono comprese fra 90 e 86 m s.l.m. ed il gradiente idraulico medio è dell'ordine del 1-1,5‰.

3.2.3.1 Piezometria sito specifica

La ricostruzione piezometrica al settembre 2014 (fig. 3.7) evidenzia una quota piezometrica sul sito relativa all'acquifero principale pari a 89 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza di circa 2,5 m da p.c. (91,5 – 89 m s.l.m. = 2,5 m da p.c.).

La soggiacenza misurata in corrispondenza del piezometro installato nel sondaggio S2 nel corso della campagna di indagine (dicembre 2022) si è attestata a profondità di **-1,12 m** da p.c., pari ad una quota piezometrica di circa 90,38 m s.l.m. Tale misura, presumibilmente riferibile ad una locale falda sospesa sostenuta da depositi fini argillosi e limosi evidenziati dalla stratigrafia del sondaggio S2 (vedi All. 2) presenti entro i 4,40 m di profondità, può essere considerata come falda massima di progetto da tenere in debita considerazione per le eventuali interferenze con la quota di imposta delle fondazioni.

3.3 ASPETTI SISMICI

3.3.1 Approfondimento sismico di primo livello

3.3.1.1 Pericolosità sismica locale

In adempimento a quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e in accordo con la D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica", viene richiesta l'analisi della sismicità secondo le modalità indicate nell'All. 5 della D.G.R. IX/2616/2011.
La procedura di 1° livello è un approccio di tipo qualitativo e consente l'individuazione, a partire dalle informazioni già acquisite nella fase di analisi territoriale di base (caratterizzazione geologica e geologico-tecnica), di ambiti areali caratterizzati da specifici scenari di pericolosità sismica locale in cui gli effetti della sollecitazione sismica di base attesa sono prevedibili con sufficiente approssimazione.
Come indicato nel capitolo 3.1.2, secondo la classificazione sismica vigente (Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129), il comune di Vellezzo Bellini risulta inserito in zona sismica 3.
Dall'esame della documentazione analitica di base (Carta sismica allegata al P.G.T. comunale) il sito di intervento rientra nello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, secondo la Tabella 1 di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616, di seguito riportata.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica sito specifica, la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Sintesi delle procedure*", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Nel caso specifico, dato che l'intervento interferisce con l'urbanizzato, si procede con gli approfondimenti sismici di 1° e 2° livello.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

3.3.1.2 Parametri sismici

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 17/01/18 "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni",* la sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale, le cui coordinate sono le seguenti:

Sito in esame

latitudine: 45,27723
longitudine: 9,12595
Classe: 4
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 13147 Lat: 45,2545 Lon: 9,0900 Distanza: 3787,725
Sito 2 ID: 13148 Lat: 45,2570 Lon: 9,1608 Distanza: 3535,838
Sito 3 ID: 12926 Lat: 45,3070 Lon: 9,1572 Distanza: 4110,855
Sito 4 ID: 12925 Lat: 45,3044 Lon: 9,0863 Distanza: 4329,668

Per le opere in progetto i parametri sismici di base al bedrock sismico assumono i seguenti valori:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60.0	0.275	2.55	0.206
S.L.D.	101.0	0.333	2.562	0.226
S.L.V.	949.0	0.686	2.595	0.292
S.L.C.	1950.0	0.853	2.597	0.301

Dove a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Inoltre, le NTC 2018 calcolano i coefficienti sismici k_h e k_V in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{max}/g)$$

$$k_V = \pm 0{,}5 \times Kh$$

β = Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g =Accelerazione di gravità.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.4125	0.2	0.0084	0.0042
S.L.D.	0.4995	0.2	0.0102	0.0051
S.L.V.	1.029	0.2	0.021	0.0105
S.L.C.	1.2795	0.2	0.0261	0.013

Per la scelta dei parametri progettuali, vista la tipologia di intervento, abbiamo assegnato ai manufatti una vita nominale Vn (2.4.1 - NTC2018) maggiore di 50 anni e una classe d'uso "IV" (2.4.2 – NTC2018).
Ne consegue che la vita di riferimento Vr per le azioni sismiche è pari a Vn × Cu (coefficiente d'uso = 2 per classe d'uso IV) = 100 anni.
Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

L'azione sismica di progetto tiene, inoltre, conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 – NTC2018); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dalla velocità delle onde S (tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018).
Le NTC2018 raccomandano fortemente la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs; a tale scopo abbiamo eseguito due prove sismiche "Down-Hole" a partire dal piano campagna.
I risultati sono stati i seguenti (cfr. Allegato 4):

Down-Hole 1	Vs,Eq.	253 m/s
Down-Hole 2	Vs,Eq.	283 m/s

I terreni di fondazione, a partire dalla quota di imposta, presentano quindi caratteristiche conformi alla **categoria sismica di sottosuolo C**, secondo la Tab. 3.2.II delle NTC 2018.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Metodologia di esecuzione delle prove sismiche Down-Hole

L'indagine sismica "Down-Hole" viene eseguita con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità.

PROVA	SONDAGGIO	N° DI MISURE	RANGE (m)	ONDE RILEVATE
DH	S1	40	1	S+P
DH	S3	40	1	S+P

Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa foro, e la registrazione avviene in foro grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità via via crescenti. In particolare, tale geofono registra gli spostamenti (tradotti sotto forma di impulsi elettrici) lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z).
Le onde sismiche possono essere generate energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).
Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle compressive e quindi raggiungeranno il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda S. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale.
La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non inferiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

momento dell'energizzazione fornita al terreno e l'inizio della registrazione sul sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un secondo geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro. La forma d'onda restituita da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente rispetto a quello che avanza in profondità, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo del treno d'onda. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato. In questo caso è stato utilizzato un sistema di chiusura di un circuito elettrico privo di ritardi.
L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti avanzando in profondità vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le posizioni di misura nel foro. In particolare, vengono raggruppate in un sismogramma le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y). Poiché i geofoni orizzontali sono due (e posizionati tra di loro a 90°) e il sismogramma uno solo, è necessario che le forme d'onda vengano fra loro composte secondo un certo angolo ϑ (diverso da 90°) che viene opportunamente modificato dal programma di interpretazione per cercare il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio. La progressiva modifica dell'angolo di composizione tra x e y, accompagnata dalla grafica in tempo reale della forma d'onda composta, consente di individuare quel valore dell'angolo ϑ per il quale è minima l'energia dell'onda compressiva e massima quella dell'onda trasversale. Questo valore dell'angolo di composizione, diverso per ciascuna profondità, viene utilizzato per la creazione del sismogramma riguardante le onde di taglio.

Esecuzione delle indagini sismiche "Down Hole".

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

3.3.1.3 Verifica della suscettibilità alla liquefazione

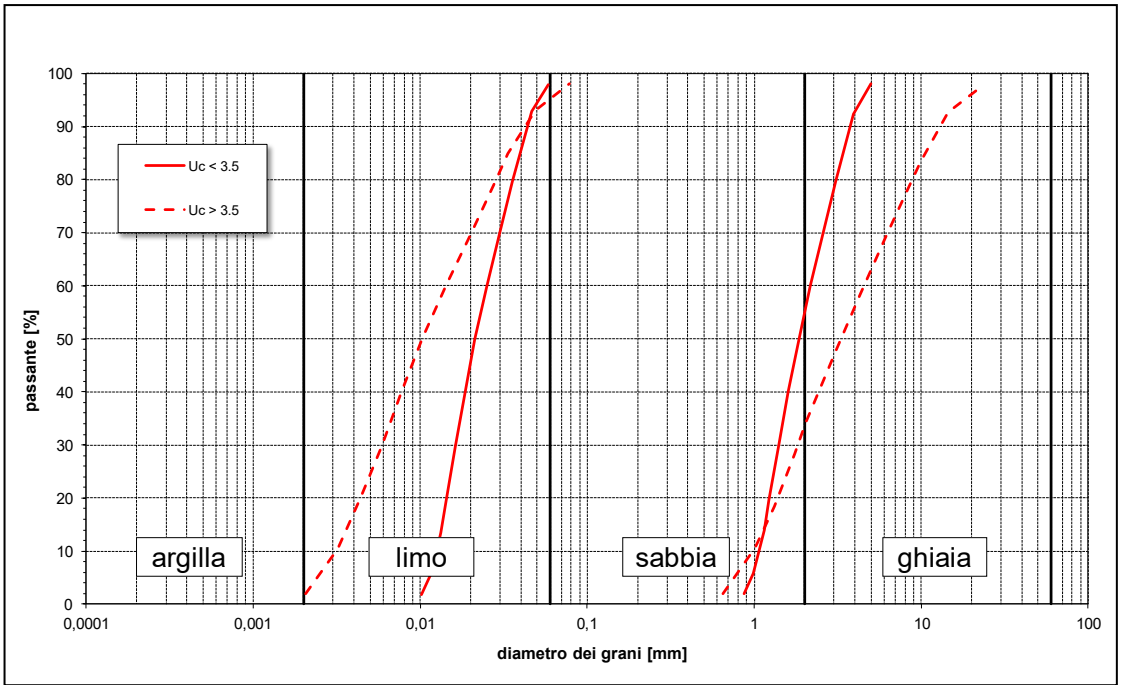
Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

Ai sensi del D.M. 17/01/18 i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico e la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

1) l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0.1 g;
2) la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
3) sono presenti depositi sabbiosi puliti con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata $(N_1)_{60}$ superiore a 30 o con resistenza penetrometrica statica normalizzata q_{c1N}> 180;
4) sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Nel caso in esame, non si può omettere la verifica alla liquefazione.
In ogni caso, come riportato nel paragrafo 3.3.1.1, la "Carta di pericolosità sismica locale" allegata al P.G.T. comunale mostra che il sito di intervento rientra nello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, secondo la Tabella 1 di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616.
Secondo questo scenario sono da verificare fenomeni di amplificazione geometrica e/o litologica in caso di evento sismico, escludendo fenomeni di liquefazione.
A favore di sicurezza, abbiamo comunque eseguito la verifica alla liquefazione, utilizzando il software "GeoStru-Liquiter 2019" e, in particolare, abbiamo considerato il metodo di *Boulanger e Idriss, 2014*.
In Allegato 6 è riportata la relazione di calcolo della "Verifica alla liquefazione" ottenuta con tale metodo; **dalla stessa si evince che il terreno in esame non è suscettibile al fenomeno della liquefazione.**

3.3.2 Approfondimento sismico di secondo livello per scenario PSL Z4a

Il secondo livello di approfondimento consente la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta PSL e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di amplificazione (Fa).
L'applicazione di tale livello consente di individuare aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare edifici e infrastrutture dagli effetti attesi di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunale riportato in apposite tabelle fornite dalla Regione Lombardia e calcolate dal Politecnico di Milano).
Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo compresi tra 0,1 e 0,5 s e tra 0,5 e 1,5 s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale.
Per quel che riguarda gli effetti litologici, la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- Stratigrafia del sito;
- Andamento delle Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità;
- Spessore e velocità di ciascuno strato;
- Modello geofisico del terreno.

Parametri litologici e stratigrafici – modello geotecnico del terreno
Le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni oggetto di studio, necessarie per l'analisi di rischio di secondo livello, sono state ricostruite mediante i risultati delle indagini geognostiche riportate in allegato.

Onde di taglio Vs e modello geofisico del terreno
Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio definita per l'area in esame è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*":

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

dove **H** rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio V_S non inferiori a 800 m/s e $\mathbf{h_i}$ e $\mathbf{V_{Si}}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato.
Nel caso in cui la profondità del substrato **H** sia superiore a 30 m dal piano di riferimento (piano di posa delle fondazioni superficiali, testa dei pali di fondazione, testa di opere di sostegno di terreni naturali, piano di posa delle fondazioni di muri di sostegno di terrapieni) la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30}, ottenuto ponendo **H** pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.
Nel nostro caso il substrato sismico è a profondità di oltre 30 metri dal piano di riferimento (piano fondazioni).

Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione
Tenuto conto di tutti i dati illustrati nei precedenti paragrafi e quindi del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico emerso dalle elaborazioni, possono essere applicate le procedure finali dell'All.5 alla D.G.R. IX/2616/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo Fattore di amplificazione (Fa).

Individuazione della scheda litologica di valutazione
In accordo alla procedura regionale si è proceduto a confrontare la stratigrafia di propagazione delle onde di taglio con le curve di riferimento attualmente disponibili.
Sulla base del confronto tra le curve sperimentali e le curve di riferimento regionali è stata scelta la scheda di valutazione relativa alla "litologia sabbiosa" (cfr. Allegato 5).

Calcolo del periodo proprio di sito
Per il calcolo del periodo proprio di sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs fino alla profondità a cui si raggiunge un valore

$$T0 = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} V_{Si} \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}\right)}$$

dove h_i e V_{si} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello (vedi elaborati prove Down-Hole in Allegato 4).
Nelle seguenti tabelle, riportiamo i valori di T_0 (periodo proprio del sito), calcolati ad ogni variazione di velocità.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Down-hole 1

tetto strato	base strato	spessore	vs30	4Xsomma hi	somma(Vsi*hi)	somma hi	denominatore	T	hi/Vsi
0	1	1	172	4	172	1	172	0,02326	0,00581
1	2	1	145	8	317	2	158,5	0,05047	0,0069
2	3	1	159	12	476	3	158,6666667	0,07563	0,00629
3	4	1	178	16	654	4	163,5	0,09786	0,00562
4	5	1	185	20	839	5	167,8	0,11919	0,00541
5	6	1	189	24	1028	6	171,3333333	0,14008	0,00529
6	7	1	192	28	1220	7	174,2857143	0,16066	0,00521
7	8	1	193	32	1413	8	176,625	0,18117	0,00518
8	9	1	227	36	1640	9	182,2222222	0,19756	0,00441
9	10	1	229	40	1869	10	186,9	0,21402	0,00437
10	12	2	230	48	2329	12	194,0833333	0,24732	0,0087
12	14	2	231	56	2791	14	199,3571429	0,2809	0,00866
14	16	2	350	64	3491	16	218,1875	0,29333	0,00571
16	18	2	351	72	4193	18	232,9444444	0,30909	0,0057
18	21	3	352	84	5249	21	249,952381	0,33606	0,00852
21	24	3	334	96	6251	24	260,4583333	0,36858	0,00898
24	33	9	335	132	9266	33	280,7878788	0,47011	0,02687
33	37	4	570	148	11546	37	312,0540541	0,47428	0,00702
37	40	3	479	160	12983	40	324,575	0,49295	0,00626

Down-hole 2

tetto strato	base strato	spessore	vs30	4Xsomma hi	somma(Vsi*hi)	somma hi	denominatore	T	hi/Vsi
0	1	1	249	4	249	1	249	0,01606	0,00402
1	2	1	223	8	472	2	236	0,0339	0,00448
2	3	1	249	12	721	3	240,3333333	0,04993	0,00402
3	4	1	199	16	920	4	230	0,06957	0,00503
4	5	1	202	20	1122	5	224,4	0,08913	0,00495
5	6	1	204	24	1326	6	221	0,1086	0,0049
6	7	1	233	28	1559	7	222,7142857	0,12572	0,00429
7	8	1	235	32	1794	8	224,25	0,1427	0,00426
8	9	1	236	36	2030	9	225,5555556	0,15961	0,00424
9	10	1	241	40	2271	10	227,1	0,17613	0,00415
10	11	1	242	44	2513	11	228,4545455	0,1926	0,00413
11	12	1	243	48	2756	12	229,6666667	0,209	0,00412
12	13	1	340	52	3096	13	238,1538462	0,21835	0,00294
13	15	2	341	60	3778	15	251,8666667	0,23822	0,00587
15	17	2	342	68	4462	17	262,4705882	0,25908	0,00585
17	20	3	344	80	5494	20	274,7	0,29123	0,00872
20	26	6	345	104	7564	26	290,9230769	0,35748	0,01739
26	35	9	318	140	10426	35	297,8857143	0,46998	0,0283
35	40	5	384	160	12346	40	308,65	0,51839	0,01302

Si sono ottenuti valori massimi del periodo del sito T_0 pari a 0,49 s e 0,51 s.

Calcolo del fattore di amplificazione

Per il calcolo del fattore di amplificazione litologico locale è necessario dapprima individuare lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dal piano di riferimento avente spessore minimo di 4 m.

Tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità Vs ottenuta come media pesata si è considerata la curva caratteristica n. 2 della scheda "litologia sabbiosa" di cui sopra:

- DH 1 → strato equivalente di 4 metri e Vs pesata = 163,5 m/s;
- DH 2 → strato equivalente di 4 metri e Vs pesata = 230 m/s.

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Sulla base dell'individuazione della curva caratteristica della scheda "litologia sabbiosa" di cui copra, occorre calcolare i fattori di amplificazione di sito F_a ai sensi della D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011; tale norma prevede due fattori di amplificazione, ossia F_a compreso tra 0,1 s e 0,5 s e F_a compreso tra 0,5 s e 1,5 s.
I progettisti ci hanno comunicato che il periodo proprio T1 degli edifici in progetto saranno: sale dati 2,1 s, gantry 1,5 s, uffici 2,2 s.
Pertanto, calcoliamo il fattore di amplificazione maggiore tra i due possibili, ossia 0,5-1,5 s.
La formula per calcolare tale fattore è indicata nella scheda "litologia sabbiosa" e in particolare è:

	0,08 ≤ T_0< 0,80
2	$F_{a\ 0,5\text{-}1,5\ s} = -6,11\ T^3 + 5,79\ T^2 + 0,44\ T + 0,93$

Categoria Sottosuolo	Scheda	Curva	Periodo T_o [s]	Fa calcolato FAC
DH 1 - C	Sabbiosa	2	0,49	**(0,5-1,5 s) = 1,81**
DH 2 - C	Sabbiosa	2	0,51	**(0,5-1,5 s) = 1,85**

Per il comune di Vellezzo Bellini il valore di Fa di soglia tra 0,5 e 1,5 s è pari a FAS = 2,4.
Quindi risulta:

- Down-hole 1 → $Fa_{\ 0,5\div1,5\ s} = 1,81 < 2,4$ → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Fattore di amplificazione sismica Soglia comunale (FAS);
- Down-hole 2 → $Fa_{\ 0,5\div1,5\ s} = 1,85 < 2,4$ → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Fattore di amplificazione sismica Soglia comunale (FAS).

Alla luce dei risultati, si specifica che la categoria sismica di sottosuolo ricavata secondo le procedure contenute nella normativa antisismica **è sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito.
Pertanto, per la progettazione in oggetto va considerata la **categoria sismica di sottosuolo C.**

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

4 RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (R2)

4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione dell'opera in progetto è stata ottenuta mediante le seguenti indagini geognostiche:

- n° 3 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo (S1, S2 e S3) spinti alla profondità di 40 m;
- installazione di n° 1 piezometro a tubo aperto da 2";
- n° 48 prove penetrometriche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- n° 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT;
- n° 15 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi;
- n° 5 campioni indisturbati prelevati dai sondaggi;
- Prove di laboratorio geotecnico sui campioni prelevati.

L'ubicazione planimetrica delle indagini eseguite è riportata in Allegato 1.

4.1.1 Metodologia di esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati eseguiti con una sonda idraulica cingolata. Le perforazioni sono state eseguite a rotazione, a carotaggio continuo, con l'impiego di carotiere semplice con Φint = 101 mm; dopo ogni manovra di perforazione si è provveduto al sostenimento del foro con l'impiego di tubi di rivestimento con Φest = 127 mm.

Caratteristiche tecniche dell'attrezzatura da perforazione:

- Carotieri: - diametro nominale Φ = 101 mm;

  - lunghezza utile l = 300 cm;

  - diametro rivestimenti Φ = 127 mm.

- Aste di perforazione con filettatura tronco conica: diametro nominale Φ = 76,1 mm.

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici, munite di scomparti divisori e coperchio apribile di dimensioni 5 m x 1 m, ed una volta scortecciate sono state fotografate.
Su ogni cassetta è stato indicato l'oggetto, il cantiere, la località, la profondità, la data e la sigla identificativa del sondaggio.
In Allegato 2 sono riportate le stratigrafie dei sondaggi effettuati.

Sigla ID	Profondità (m dal p.c.)	SPT	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Allestimento
S1	40	17	1	5	Down-Hole
S2	40	15	2	5	Piezometro
S3	40	16	2	5	Down-Hole

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Esecuzione dei sondaggi

4.1.2 Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche in foro SPT

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite n° 48 prove penetrometriche dinamiche SPT in foro /Standard Penetration Test).
Tale tipologia di prova consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo del foro di sondaggio.
La prova consiste nel far cadere un maglio dal peso di 63.5 Kg da una altezza di 760 ±10 mm, su una testa di battuta fissa alla sommità di una batteria di aste di diametro conforme alle norme, alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore RAYMOND di dimensioni standardizzate.
Nel caso di attraversamento di terreni grossolani il campionatore può essere sostituito da una punta chiusa conica standardizzata, maggiormente adatta a tali granulometrie.
La prova si esegue infiggendo a fondo foro il campionatore/punta per due tratti consecutivi, il primo da 150 mm (N1) e il secondo da 300 mm (N2+N3), annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione.
La successione delle operazioni è la seguente:

- procedere alla infissione preliminare di 150 mm contando ed annotando il numero di colpi del maglio (N1);
- procedere alla infissione del tratto di 300 mm contando ed annotando separatamente il numero di colpi relativi ai primi 150 mm (N2) ed ai secondi 150 mm (N3).

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Prima dell'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche dal foro di sondaggio vengono eliminati eventuali sedimenti che potrebbero inficiare l'esito della prova.
Le prove SPT sono state eseguite rispettando la normativa di riferimento:

- A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- ASTM D 1586-67 (1974); d1586-84 (1992). Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil;
- ISSMFE Technical Committee (1988). Standard Panetration Test (SPT): International Reference Test procedure

I risultati sono riportati nelle schede stratigrafiche (cfr. Allegato 2) e nella tabella riepilogativa seguente.

n.	ID sondaggio	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi
1	S1	1,5	1,95	1-3-6
2	S1	3	3,45	3-6-5
3	S1	4,5	4,95	5-7-9
4	S1	6	6,45	7-8-11
5	S1	7,5	7,95	2-5-4
6	S1	9	9,45	6-6-7
7	S1	12	12,45	3-6-18
8	S1	15	15,45	6-4-3
9	S1	18	18,45	5-4-4
10	S1	19	19,45	4-9-21
11	S1	21	21,45	6-3-5
12	S1	24	24,45	7-5-9
13	S1	27	27,45	3-5-6
14	S1	30	30,45	7-6-10
15	S1	33	33,45	5-4-6
16	S1	36	36,45	4-5-7
17	S1	39	39,45	6-8-12
18	S2	1,5	1,95	7-4-4
19	S2	3	3,45	4-7-7
20	S2	4,5	4,95	4-8-11
21	S2	6,5	6,95	5-9-12
22	S2	9	9,45	5-3-2
23	S2	12	12,45	8-15-21
24	S2	15	15,45	5-3-3
25	S2	18	18,45	6-3-4
26	S2	21	21,45	7-5-7
27	S2	24	24,45	9-6-9
28	S2	27	27,45	4-6-6
29	S2	30	30,45	8-9-7
30	S2	33	33,45	5-7-8
31	S2	36	36,45	5-6-7
32	S2	39	39,45	7-5-11
33	S3	2,5	2,95	2-3-5

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

34	S3	4	4,45	2-2-4
35	S3	6	6,45	4-7-10
36	S3	7	7,45	3-4-6
37	S3	9	9,45	4-6-8
38	S3	11,5	11,95	9-11-11
39	S3	13	13,45	10-12-15
40	S3	14,5	14,95	2-4-5
41	S3	17,5	17,95	4-7-10
42	S3	20,5	50,95	3-3-6
43	S3	23,5	23,95	4-7-10
44	S3	26,5	26,95	4-6-8
45	S3	29,5	29,95	4-7-9
46	S3	32,5	32,95	6-6-7
47	S3	35,5	35,95	4-6-9
48	S3	38,5	38,95	4-7-10

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

4.1.3 Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche continue SCPT

Le prove penetrometriche standard (Standard Cone Penetration Test) sono state eseguite da piano campagna.
Ciascuna prova consiste nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.
Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.
Caratteristiche tecniche:

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg;
- punta conica: conicità 60°, Φ = 51 mm;
- aste: Φ =34 mm.

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).

Esecuzione delle prove SCPT

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

4.1.4 Prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici rimaneggiati e indisturbati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio (granulometria per setacciatura).
Nella tabella seguente, per ogni sondaggio, sono dettagliati i campioni prelevati, la data e la profondità di prelievo, la tipologia del campione, il protocollo analitico commissionato.

ID SONDAGGIO	ID CAMPIONE	TIPO CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	PROVE
S1	CI1	Indisturbato	2,00-2,50	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, Limiti di Atterberg (liquidità/plasticità), contenuto d'acqua, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani, prova di compressibilità edometrica, prova taglio diretto Casagrande, prova ttriassiale C.U.
S1	CR1	Rimaneggiato	4,00-4,30	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani.
S1	CR2	Rimaneggiato	13,00-13,30	
S1	CR3	Rimaneggiato	16,00-16,30	
S1	CR4	Rimaneggiato	19,70-20,00	
S1	CR5	Rimaneggiato	24,70-25,00	
S2	CI1	Indisturbato	2,00-2,50	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, Limiti di Atterberg (liquidità/plasticità), contenuto d'acqua, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani, prova di compressibilità edometrica, prova taglio diretto Casagrande, prova triassiale C.U.
S2	CI2	Indisturbato	6,00-6,50	
S2	CR1	Rimaneggiato	8,70-9,00	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani.
S2	CR2	Rimaneggiato	20,00-20,30	
S2	CR3	Rimaneggiato	26,00-26,30	
S2	CR4	Rimaneggiato	29,00-29,30	
S2	CR5	Rimaneggiato	34,00-34,30	
S3	CI1	Indisturbato	1,50-2,00	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, Limiti di Atterberg (liquidità/plasticità), contenuto d'acqua, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani, prova di compressibilità edometrica, prova taglio diretto Casagrande, prova triassiale C.U.
S3	CI2	Indisturbato	4,50-5,00	
S3	CR1	Rimaneggiato	9,00-9,50	Analisi granulometrica per sedimentazione/setacciatura, determinazione massa volumica stato naturale, peso specifico grani.
S3	CR2	Rimaneggiato	21,00-22,00	
S3	CR3	Rimaneggiato	27,00-28,00	
S3	CR4	Rimaneggiato	31,00-32,00	
S3	CR5	Rimaneggiato	37,00-38,00	

Per la visione di dettaglio dei risultati delle analisi si rimanda ai certificati forniti in allegato (Allegato 2)

Di seguito viene riportata una tabella sintetica dei risultati ottenuti.

STUDIO IDROGEOTECNICO 1964 - 2014

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Committente: Studio Idrogeotecnico S.r.l.

Cantiere: Indagini geognostiche nel comune di Vellezzo Bellini (PV)

"Prove di laboratorio su campioni rimaneggiati ed indisturbati

Sigla campione	Sigla di laboratorio	Profondità di prelievo (m) da	Profondità di prelievo (m) a	Peso di volume naturale γ_n (KN/m3)	Peso volume del secco γ_d (KN/m3)	Contenuto d'acqua W (%)	Peso specifico medio γ_s	Porosità n (%)	Indice dei vuoti e (-)	Grado di saturazione Sr (%)	Distribuzione granulometrica (%) Argilla	Limo	Sabbia	Ghiaia	Ciottoli	Limiti di Atterberg WL (%)	WP (%)	IP	IC	IL	Prova di taglio consolidata drenata CD Angolo di attrito φ'	Coesione c (kPa)	Prova di compressibilità edometrica Coefficiente di compressibilità mv (MPa^{-1})	Modulo edometrico Eed (MPa)	Coefficiente di permeabilità k (m/sec)	Coefficiente di consolidazione primaria C_v (cm^2/sec)
S01-CI01	T.1997/22	2,00	2,50	19,57	15,88	23,27	2,65	39,99	0,67	92,38	8,00	18,00	61,00	13,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.			33,07	15,86				
S01-CR01	T.1998/22	4,00	4,30								9,50		47,54	42,96	0,00											
S01-CR02	T.1999/22	13,00	13,30	18,97	15,08	25,82	2,57				5,00	25,50	67,50	2,00	0,00						32,56	15,42				
S01-CR03	T.2000/22	16,00	16,30	18,53	14,77	25,49					9,50		90,41	0,09	0,00						35,26	13,63				
S01-CR04	T.2001/22	19,70	20,00								10,50		89,40	0,10	0,00											
S01-CR05	T.2002/22	24,70	25,00								7,00		92,82	0,18	0,00											
S02-CI01	T.2003/22	2,00	2,50	19,69	16,32	20,71	2,62	37,83	0,61	89,31	0,50	18,50	79,50	1,50	0,00	n.d.	n.d.	n.d.								
S02-CI02	T.2004/22	6,00	6,50	19,71	15,95	23,60	2,64	39,53	0,65	95,20	25,00	25,50	48,00	1,50	0,00	42,50	24,21	18,29	1,05	-0,05	29,66	24,61				
S02-CR01	T.2005/22	8,70	9,00								13,50		83,53	2,97	0,00											
S02-CR02	T.2006/22	20,00	20,30	19,18	14,92	28,60					11,50		88,45	0,05	0,00											
S02-CR03	T.2007/22	26,00	26,30				2,59				3,00	19,00	75,00	3,00	0,00											
S02-CR04	T.2008/22	29,00	29,30	18,05	13,85	30,33					13,00		83,21	3,79	0,00											
S02-CR05	T.2009/22	34,00	34,30				2,60				9,00	19,00	69,00	3,00	0,00											
S03-CI01	T.2010/22	1,50	2,00	18,51	14,08	31,44	2,70	47,87	0,92	92,45	15,50	48,50	34,50	1,50	0,00	38,10	28,56	9,54	0,70	0,30	30,66	18,11				
S03-CI02	T.2011/22	4,50	5,00	19,49	15,45	26,23	2,69	42,49	0,74	95,14	6,50	12,50	79,00	2,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.			34,09	15,06				
S03-CR01	T.2012/22	9,00	10,00								11,00		86,70	2,30	0,00											
S03-CR02	T.2013/22	21,00	22,00								11,00		86,81	2,19	0,00											
S03-CR03	T.2014/22	27,00	28,00				2,59				4,50	20,50	61,00	14,00	0,00											
S03-CR04	T.2015/22	31,00	32,00								9,50		89,59	0,91	0,00											
S03-CR05	T.2016/22	37,00	38,00								10,00		88,47	1,53	0,00											

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI

I sondaggi e le prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati (granulometrie) hanno rilevato le seguenti stratigrafie:

Sondaggio S1

- 0,00-0,70 m → terreno di coltivo sabbioso;
- 0,70-1,00 m → limo debolmente sabbioso-argilloso;
- 1,00-1,50 m → sabbia limosa;
- 1,50-2,30 m → limo argilloso debolmente sabbioso;
- 2,30-6,00 m → sabbia debolmente limosa inglobante ghiaia e laterizi;
- 6,00-7,65 m → sabbia limosa;
- 7,65-8,00 m → argilla limoso-sabbiosa;
- 8,00-9,00 m → sabbia limosa;
- 9,00-9,15 m → limo argilloso e sabbioso;
- 9,15-9,60 m → argilla limosa;
- 9,60-12,30 m → sabbia limosa;
- 12,30-17,20 m → sabbia limosa;
- 17,20-17,50 m → limo sabbioso;
- 17,50-20,30 m → sabbia limosa;
- 20,30-20,40 m → argilla limoso-sabbiosa;
- 20,40-21,50 m → sabbia limosa;
- 21,50-21,80 m → argilla limosa;
- 21,80-30,50 m → sabbia limosa;
- 30,50-31,00 m → sabbia debolmente limosa inglobante ghiaia;
- 31,00-31,40 m → sabbia limosa;
- 31,40-32,70 m → limo sabbioso, debolmente argilloso;
- 32,70-33,55 m → sabbia limosa;
- 33,55-34,40 m → argilla;
- 34,40-36,45 m → sabbia limosa;
- 36,45-36,80 m → argilla;
- 36,80-40,00 m → sabbia limosa.

Sondaggio S2

- 0,00-0,80 m → terreno di coltivo sabbioso-limoso, inglobante ghiaia;
- 0,80-0,90 m → limo debolmente sabbioso-argilloso;
- 0,90-2,00 m → sabbia limosa;
- 2,00-3,60 m → sabbia limoso-argillosa inglobante rara ghiaia;
- 3,60-3,75 m → sabbia limoso-argillosa;
- 3,75-3,90 m → limo argilloso;
- 3,90-4,40 m → argilla;
- 4,40-5,45 m → sabbia limoso-argillosa;
- 5,45-5,60 m → argilla;
- 5,60-6,40 m → limo argilloso;
- 6,40-21,00 m → sabbia limosa;
- 21,00-22,70 m → sabbia limosa inglobante rara ghiaia;
- 22,70-25,10 m → sabbia limosa;

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

- 25,10-27,70 m → sabbia limosa inglobante rara ghiaia;
- 27,70-33,00 m → sabbia limosa;
- 33,00-33,60 m → sabbia limoso-argillosa;
- 33,60-36,00 m → sabbia limosa inglobante rara ghiaia;
- 36,00-36,20 m → sabbia limosa;
- 36,20-37,30 m → argilla;
- 37,30-40 m → sabbia limosa.

Sondaggio S3
- 0,00-0,70 m → terreno di coltivo sabbioso-limoso con rara ghiaia;
- 0,70-3,20 m → limo sabbioso e sabbia limosa;
- 3,20-4,00 m → argilla debolmente limosa;
- 4,00-5,00 m → limo sabbioso e sabbia limosa con argilla;
- 5,00-5,60 m → sabbia limosa;
- 5,60-6,00 m → limo sabbioso-argilloso;
- 6,00-8,00 m → sabbia;
- 8,00-34,15 m → sabbia limosa;
- 34,15-34,80 m → argilla limosa e limo argilloso;
- 34,80-40,00 m → sabbia.

Inoltre, le prove penetrometriche SPT e SCPT hanno consentito il rilevamento dello stato di addensamento dei terreni.
Si specifica che, viste le litologie con terreni a prevalente componente fine/finissima, la valutazione del modello geotecnico e quindi dei parametri geotecnici viene eseguita tenendo in considerazione che le prove SCPT sono molto significative soprattutto per i metri superficiali di sottosuolo, mentre a profondità di oltre 7/8 metri aumenta tantissimo l'effetto attritivo e frizionale dei terreni sulle aste di penetrazione e sulla punta.
Pertanto, oltre tali profondità si considerano più significativi i valori di resistenza alla penetrazione delle prove SPT in foro di sondaggio, meno soggetti ad attrito laterale.
Sintetizzando tutti i valori di penetrazione (cfr. Allegato 2 e Allegato 3), ne risulta il seguente modello geotecnico:

- da 0,00 m a circa – 2,00 m, si rileva un grado di addensamento del terreno scarso (unità geotecnica 1);
- da circa – 2,00 m a circa – 4,00/4,50 m, la resistenza alla penetrazione aumenta ed il grado di addensamento è medio (unità geotecnica 2);
- da circa – 4,00/4,50 m a circa – 7,00/7,50 m, il grado di addensamento diminuisce ed è variabile tra scarso e medio (unità geotecnica 3);
- da circa – 7,00/7,50 m a circa – 12,50 m → si rileva un grado di addensamento medio (unità geotecnica 4);
- da circa – 12,50 m fino alla massima profondità indagata (– 35,95 m con le SPT in S3) → si individua un grado di addensamento ancora variabile tra scarso e medio (unità geotecnica 5).

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche.
I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.
I valori delle resistenze all'avanzamento delle prove penetrometriche dinamiche SCPT sono stati correlati ai valori di $\mathbf{N_{SPT}}$, utilizzati per la valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità, mediante la seguente relazione:

$$\mathbf{N_{SPT} = 1{,}5 \times N_{SCPT}}$$

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e dalle caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$\mathbf{N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn}$$

dove: **N'(60)** = valore di resistenza normalizzato
Cr =fattore di correzione funzione della profondità
Cd = fattore di correzione funzione del diametro del foro
Cn = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno
1.08 =valore di correzione funzione delle caratteristiche di restituzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura

La stima del valore della densità relativa (Dr) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$Dr \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.
Sono state quindi riconosciute cinque unità geotecniche, aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

da 0,00 m a circa – 2,00 m
unità geotecnica 1

N_{SPT} = 4-7
Φ = 26°-27°
γ = 18 kN/m^3
Dr = 15-20 %
c = 1-2 kN/m^2

da circa – 2,00 metri a circa – 4,00/4,50 m
unità geotecnica 2

N_{SPT} = 12-15
Φ = 30°-31°
γ = 18 kN/m^3
Dr = 40 %
c = 3-4 kN/m^2

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

da circa – 4,00/4,50 m a circa – 7,00/7,50 m
unità geotecnica 3

N_{SPT} = 8-12
Φ = 29°-30°
γ = 18 kN/m^3
Dr = 30 %
c = 3-4 kN/m^2

da circa – 7,00/7,50 m a circa – 12,50 m
unità geotecnica 4

N_{SPT} = 17-18
Φ = 31°-32°
γ = 18 kN/m^3
Dr = 50 %
c = 3-4 kN/m^2

da circa – 12,50 m a – 35,95 m
unità geotecnica 5

N_{SPT} = 8-12
Φ = 29°-30°
γ = 18 kN/m^3
Dr = 30 %
c = 3-4 kN/m^2

N.B.
N_{SPT} = numero colpi/30 cm;
Φ = angolo di attrito del materiale;
γ = peso di volume;
Dr = densità relativa;
c = coesione.

Modulo Elastico

Valori indicati in kPa.

Terreno	SPT	CPT
Sabbia (normalmente consolidata)	$E_s = 500(N + 15)$ $E_s = (15\,000 \div 22\,000) \ln N$ $E_s^{(3)} = (35\,000 \div 50\,000) \log N$	$E_s = 2 \div 4q_c$ $E_s^{(1)} = (1 + D_r^2)q_c$
Sabbia (satura)	$E_s = 250(N + 15)$	
Sabbia (sovraconsolidata)	$E_s^{(2)} = 18\,000 + 750N$ $E_{s(OCR)} = E_{s(nc)}\,(OCR)^{1/2}$	$E_s = 6 \div 30q_c$
Sabbia ghiaiosa e ghiaia	$E_s = 1200(N + 6)$ $E_s = 600(N + 6) \quad N \leq 15$ $E_s = 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Sabbia argillosa	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = 3 \div 6q_c$
Sabbia limosa	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = 1 \div 2q_c$
Argilla soffice	—	$E_s = 3 \div 8q_c$
Argilla	Utilizzando resistenza a taglio non drenata s_u, nelle unità di s_u $I_p > 30$ o organica $I_p < 30$ o rigida $E_{s(OCR)} = E_{s(nc)}\,(OCR)^{1/2}$	$E_s = 100 - 500s_u$ $E_s = 500 - 1500s_u$

(1) Vesić (1970).
(2) Formula proposta dall'autore a partire da un diagramma riportato da D'Appolonia et al. (1970).
(3) URSS: il valore di N può non essere standard.
Fonti generali: *European Conference on Standard Penetration Testing* (1974), vol. 2.1, pp. 150-151; CGJ, novembre 1983, pp. 726-737; *Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering*, ASCE (1986), p. 1173; Mitchel e Gardner (1975).

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Vista la natura dei terreni rilevati, si utilizza la formula indicata in rosso.
Quindi, per le unità geotecniche individuate si ottiene:

- Unità geotecnica 1 → circa 6000-10000 kPa = 60-100 kg/cm^2;
- Unità geotecnica 2 → circa 9000-13000 kPa = 90-130 kg/cm^2;
- Unità geotecnica 3 → circa 8000-12000 kPa = 80-120 kg/cm^2;
- Unità geotecnica 4 → circa 10000-15000 kPa = 100-150 kg/cm^2;
- Unità geotecnica 5 → circa 8000-12000 kPa = 80-120 kg/cm^2.

Inoltre, se si considerano i valori tipici indicati da Bowles, si nota che i valori sopra indicati sono caratteristici di terreni molto fini, appunto sabbioso limose e argille.

Valori indicativi del modulo elastico E_S per terreni

Terreno	E_S [kg/cmq]
Argilla molto molle	20 ÷ 150
Argilla molle	50 ÷ 250
Argilla media	150 ÷ 500
Argilla dura	500 ÷ 1000
Argilla sabbiosa	250 ÷ 2500
Limo	20 ÷ 200
Sabbia limosa	50 ÷ 200
Sabbia sciolta	100 ÷ 250
Sabbia compatta	500 ÷ 800
Sabbia e ghiaia sciolta	500 ÷ 1500
Sabbia e ghiaia compatta	1000 ÷ 2000

Fonte: Bowles – Fondazioni – IV edizione

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Efrem Ghezzi